

CS4-4〔I〕

地震動の2次元増幅特性評価の試み

佐藤工業(株) ○中村 晋, 末富岩雄

1. はじめに 表層地盤における地震動の増幅特性を表す指標のうち、周波数応答倍率は地盤の固有周期やその周期における地震動の増幅率等を表し、均質な水平成層地盤におけるS波の重複反射として評価できることが指摘されている。その妥当性は地表、地中の地震観測記録より求めた周波数応答倍率との比較に基づいて行われているが、固有周期を除くと定性的傾向の一致にとどまっておりに十分に検証されているとはいえない。それは、地盤のモデル化や地震記録に基づく周波数応答倍率の評価が適切でないことに起因していると考えられる。後者の問題点には、地盤構造の不整形性(地層境界の傾斜や地表面形状の凹凸等)や地盤物性の空間的揺らぎに起因し両者の地盤振動方向が一致しないにもかかわらずベクトル量である地震動の地表・地中における同一成分(例えば南北・東西成分等)間のスペクトル比として周波数応答倍率を求めていることが考えられる。このことから、不整形性の強い地盤にも適用可能な地震動の周波数応答倍率の評価できる手法が必要となる。

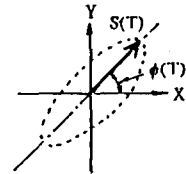
本報告では、まず地震動の水平面に関する地震動ベクトルの周波数特性を表すパラメーターを定義する。次に、それを用いて表層地盤における2次元増幅特性(周波数応答倍率等)の評価手法を示す。最後に、地震観測記録に用いて算出した2次元増幅特性と従来の同一成分間のスペクトル比により算出した増幅特性の比較を行い、提案手法の適用性について検討を行う。

2. 2次元増幅特性の評価手法

1)地震動ベクトルの周波数特性を表すパラメーター 地震観測により得られる加速度等の地震動ベクトルの時刻歴 $Z(t)$ は水平面における地震動の直交2成分 $X(t)$, $Y(t)$ (例えば南北, 東西成分)の時刻歴を用い複素平面上で表すと次式となる。

$$Z(t) = X(t) + Y(t)i \quad (1)$$

すると、 $Z(t)$ のフーリエ変換より得られる周期 T におけるスペクトル $W(T)$ の粒子軌跡は、図-1の様に楕円となる。これより、S波の地震動ベクトルを表すパラメーターとしてその長軸半径の方向のパワースペクトル $S(T)$ (ベクトルスペクトル)と主軸方位 $\phi(T)$ (実軸と長軸方向との反時計まわりになす角)の2つを考える。それらは各成分のパワースペクトル $P_x(T)$ と $P_y(T)$ とコスペクトル $K_{xy}(T)$ により表され次式となる。



$$S(T) = \frac{P_x(T) + P_y(T)}{2} \quad (2) \quad \phi(T) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2K_{xy}(T)}{P_x(T) - P_y(T)} \right) \quad (3)$$

2)2次元増幅特性の評価 従来、表層地盤における周波数応答倍率は地表・地中で観測された地震記録の成分間のパワースペクトル比の平方根等として求められている。2次元増幅特性は、従来と同様の地表と地中の地震動のベクトルスペクトル比の平方根として求められる周波数応答倍率 $H_T(T)$ と2地点における振動の主軸方向の差 $\phi_d(T)$ の2つを用いて表す。ここで、主軸方向の差の程度は地盤構造の不整形性等の程度と関連し、従来良く用いられているコヒ-レンスより物理的に分かりやすいと考えられる。ここで増幅特性を表すこれら2つの量は、水平2成分に関する地震計の設置方位によらず不変な値であり、地震観測で得られたいずれの成分について増幅特性を評価するか等の問題がなくなる。

$$H_T(T) = \sqrt{\frac{S_s(T)}{S_B(T)}} \quad (4) \quad \phi_d(T) = \phi_s(T) - \phi_B(T) \quad (5)$$

ここで $S_s(T)$, $S_B(T)$ は地表・地中のベクトルスペクトル、 $\phi_s(T)$, $\phi_B(T)$ は地表・地中の主軸方位を表す。

3. 適用事例 ここでは仙台平野で実施されている高密度強震観測網で得られた地震記録のうち1989年4月28日から1991年1月16日の間に得られた8地震(地震規模 $M_j=7.1$)の最も大きな岩手県沖地震(1989年

11月2日)も含む)による2地点(沖野局, 鶴巻局)の地表(GL-1m)と地中(沖野局;GL-62m, 鶴巻局;GL-77m)の地震記録を用い, 前章で示した2次元周波数応答倍率を算出し図-2,3に示す。図には従来の各成分間のパワースペクトル比の平方根より得られる周波数応答倍率も合わせて示す。いずれも, スペクトルの算出に際しては, Parzenウィンドウ処理を行った。これより, 周波数応答倍率は従来の方法に比べかなりばらつきが小さいことが分かる

次に, 主軸差の一例を図-4に示す。これより, 1次の固有周期近傍より長周期側では地表と地中の主軸がほぼ一致し, それより短周期側では主軸方向がほとんど一致していないのが分かる。他の地震でも同様な傾向がみられた。1次の固有周期近傍より短周期側で主軸方向がほとんど一致していないのは, 地盤物性や構造の不均質性に起因していると考えられる。

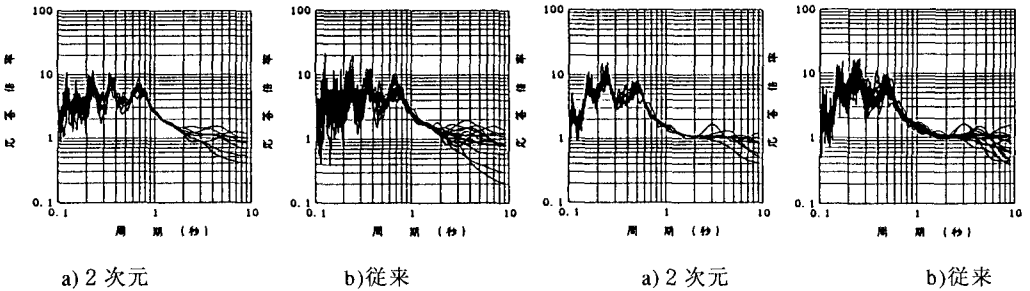


図-2 沖野局における周波数応答倍率の比較

図-3 鶴巻局における周波数応答倍率の比較

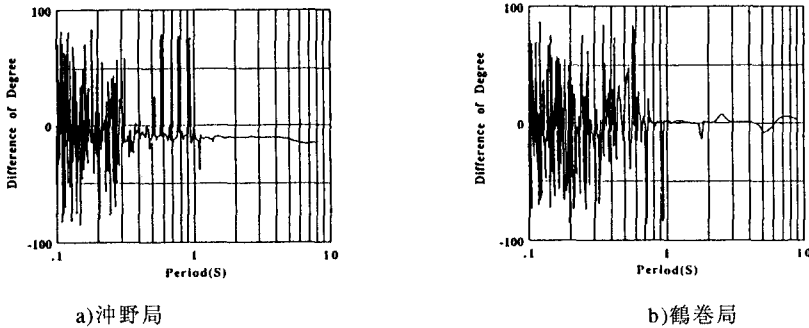


図-4 主軸差(岩手県沖地震)

4. あとがき 本報告では, 地震動の水平面に関するベクトルスペクトルを用いた2次元増幅特性の試みを行った。それは, 検討の対象とする成分に依存しない不変量であるベクトルスペクトル比による周波数応答倍率と主軸差により定義した。ここで提案した地震動の増幅特性は従来の同一成分間のスペクトル比により算出した増幅特性に比べかなり安定しており, 地盤固有の地震動増幅特性のみならず地盤物性の同定にも活用できると考えられる。今後, その適用性に関する検討を継続的に行うとともに, 不整形地盤における地震動の増幅特性の評価や地盤物性の同定等に活用したい。なお, 本研究について貴重な助言をいただいた東北工業大学・神山教授に感謝の意を表します。また, 本報告で使用した地震観測記録は建設省建築研究所と(社)建築研究振興協会の共同研究として実施されている高密度強震観測事業により得られたものである。本事業の運営にあたっては, 同協会内に建設省建築研究所と建設業16社および設計事務所連合からなる『高密度強震観測運営委員会』が設置されている。

参考文献 日野幹男; スペクトル解析(第10版), 1983